Aus dem Arbeitsphysiologischen Institut der Universität Breslau.
Direktor: Prof. Dr. A. Basler.

Ueber den durch langwellige Lichtstrahlen und unscharfe Einstellung bedingten Blendungsschmerz.

Inaugural-Dissertation

zur
Erlangung des Doktorgrades in der Medizin
bei der Hohen Medizinischen Fakultät der
Schlesischen Friedrich - Wilhelms - Universität
zu Breslau

vorgelegt von

Erwin Eisenecker
Breslau

Breslau 1939

Buchdruckerei und Verlag Eugen Jakubik, Breslau 10, Wörtherstrasse 6

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Breslau.

I. Referent: Prof. Dr. A. Basler
II. Referent: Prof. Dr. Dieter.
Dekan: Prof. Dr. Gutzeit.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen Eltern in Dankbarkeit!

Methodik für die Erzeugung von Blendungsschmerz durch Farben.

Wie schon angedeutet, üben nicht alle Farbfilter die gleiche Reizwirkung aus. Um verhältnismäßig rasch eine große Anzahl der verschiedenartigsten Farbenfilter herzustellen, bediente ich mich der im Handel befindlichen farbigen Gelatinepapiere, die den Vorteil bieten, daß man durch Übereinanderlegen derselben alle möglichen Farbtöne und Sättigungsgrade selbst herstellen kann. Jeder Sorte von Gelatinefolien gab ich zur leichteren Identifizierung eine bestimmte Nummer.

Damit ich in einfachster Weise einen Überblick gewann über den Grad, der von einer bestimmten Farbe hervorgerufenen Störung, bediente ich mich farbiger Brillen. Zur Anwendung dieser Methode stellte ich selbst aus Pappe ein Brillengestell her. Dieses gestattete mit Hilfe einer Falzeinrichtung die Gläser bzw. die Gelatinepapiere auszuwechseln. Als Lichtquelle mit bleibender Lichtstärke benutzte ich einen Beleuchtungskasten, der darauf beruht, daß eine Milchglasscheibe, auf die ich bei dem Versuch blickte, von hinten her mit zwei 40-Watt-Lampen beleuchtet wird. Zuerst verglich ich die Farben mit weißem Licht und dann untereinander; schließlich kombinierte ich die Farben auf die verschiedensten Arten.

Die einzelnen Gelatineblätter, die ich kombinierte, hatten folgende Farben und Nummern:

Nr. 1 Blau,
Nr. 2 Grün,
Nr. 3 Gelbgrün,
Nr. 4 Gelb,
Nr. 5 Rosa,
Nr. 6 Granatrot,
Nr. 7 Karminrot,
Nr. 8 Violett.

In den Versuchsprotokollen werden dann die Folien jeweils mit ihren Nummern bezeichnet. So bedeutet beispielsweise 113 eine Kombination von zwei blauen Blättern und einem gelbgrünen Blatt, 444 entspricht einem Satz von drei gelben Gelatinepapieren.

Wie man immer wieder feststellen konnte, blendet Rot und Gelb am meisten. Die Intensität des Lichtes spielt hierbei nicht die große Rolle, wie man von vornherein vermutete. Ausschlaggebender ist die Sättigung des Farbtones.

Bei den mit dieser Brille vorgenommenen Versuchen ließ sich ganz allgemein feststellen, daß beim Einsetzen roter und gelber Gläser die Blendungserscheiungnen stärker auftraten, bei Blau und Grün dagegen schwächer als beim einfachen brillenlosen Betrachten der hell erleuchteten Fläche. Grün und Blau wirken in

umgekehrtem Sinne; nämlich sie beruhigen in Form einer scheinbaren Verdunkelung. Dieser Unterschied in der Wirkung von Rot und Grün, oder allgemein von warmen und kalten Farbtönen, oder, wenn man die Heringsche Theorie zugrundelegt, von dissimilierenden und assimilierenden Strahlungen, ist längst bekannt.

Analyse der Strahlungen.

Selbstverständlich waren aber nicht alle roten und gelben Farbtöne gleich wirksam, sondern es zeigten sich eine Menge von Verschiedenheiten je nach dem Farbton. Um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, habe ich die Filter durch Bestimmung der Wellenlänge physikalisch zu definieren gesucht.

Da das gewöhnliche, im Handel erhältliche, geradsichtige Handspektroskop Spektren erzeugt, die für meine Zwecke zu kurz waren, ein großer Spektralapparat mir aber nicht zur Verfügung stand, habe ich das Spektrum des Taschenspektroskopes mit einer selbst gebauten Einrichtung durch Projektion vergrößert.

Dabei diente die Okularlinse des Spektroskopes als Projektionslinse. Das Spektrum kam auf einem in ungefähr einem Meter Abstand stehenden Schirm zustande. Hinter dem Spektroskop stand als Lichtquelle eine 100-Watt-Nitra-Projektions-Lampe, deren Strahlen durch einen Kondensor nahezu parallel gemacht wurden. Lampe und Kondensor wurden mit einem Kasten abgeschirmt, in dessen Vorderwand eine kreisrunde Öffnung von ungefähr 1,5 cm Durchmesser eingeschnitten war. Vor dem Ausschnitt war das Spektroskop so angebracht, daß der Spalt die Öffnung deckte. (Vgl. Abb. 1.)

Zwischen Kondensor und Spalt wurde jetzt das Filter, dessen Absorptionsbreite man bestimmen wollte, geschoben. Die durch die Absorption des Filters ausfallenden Wellenlängen konnten dann mühelos auf dem Schirm als dunkle Lücken im Spektrum erkannt werden.

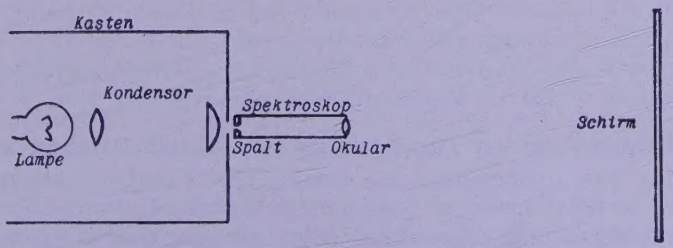

Abb. 1.

Für die von mir benutzten Farbfilter ergaben sich folgende Absorptionswerte:

Filter		Resorbierte Wellenlänge in μμ						
rot	A	536,6	—	492,1	und	439,0	—	433,0
gelb	B	487,0	—	433,0				
gelbgrün	C	656,2	—	572,0	und	446,0	—	433,0
grün	D	656,2	—	563,6	und	442,0	—	433,0
blau	E	656,2	—	567,1				
violett	F	569,0	—	521,0				

Im Anschluß daran habe ich auch das Spektrum verschiedener im Handel befindlicher Schutzbrillen untersucht, und zwar gerade von solchen, die die mehrfach erwähnte Reizwirkung am ausgesprochensten zeigen. Es sind das die Brillen, die einen gelben bzw. gelbgrünen Farbton haben und als Fieuzal-, Hallauer und Euphosgläser käuflich zu erwerben sind. Sie alle sind darauf abgestimmt, daß sie einen möglichst großen Bereich des kurzwelligen Anteiles vom Sonnenlicht absorbieren.

Physiologische Definition der Farbfilter.

Die behelfsmäßig aufgebaute Apparatur bietet natürlich keine Gewähr dafür, daß die Wellenlängen bis zur letzten Ziffer stimmen. Das hat aber für unsere Zwecke nichts zu bedeuten. Viel wichtiger ist in diesem Zusammenhang die physiologische Definition der Farben.

So habe ich den Farbton des am meisten wirksamen, roten Farbfilters physiologisch bestimmt. Da mir zunächst keine Apparatur zur Verfügung stand, um die Farben von rückseitig bestrahlten Farbfiltern zu mischen, mußte ich mir in primitiver Art helfen. Dazu habe ich das zu untersuchende Farbfilter wie bei meinen optischen Prüfungen vor den Lichtkasten gelegt und dann versucht, diesen Farbton in Ölfarbe auf Malpappe möglichst genau zu malen. Die so gewonnene Farbprobe verglich ich mit dem durch Mischung des Heringschen Urrot und Urblau künstlich hervorgerufenen Farbeindruck. Dabei erhielt ich die größte Ähnlichkeit bei Mischung der beiden Pigmentfarben im Verhältnis von 87% Rot und 13% Blau. Natürlich darf bei dem Ergebnis keine allzu große Genauigkeit erwartet werden, denn es liegt in der Natur der Sache, daß sich das Aussehen des roten Farbfilters nur annäherungsweise in Pigmentfarben wiedergeben läßt.

Bestimmung der Gipfelzeit für den Blendungsschmerz.

Um die gegenseitige Beziehung der Farben beurteilen zu können, schien mir das geeignetste Verfahren, für jedes Filter A bis F festzustellen, wieviel Zeit verstreicht, bis die Reizerscheinungen ihr Maximum erreicht hatten. Diese Zeit will ich im An-

schluß an eine analoge Bezeichnung der Muskelphysiologie Gipfelzeit nennen.

Dazu benutzte ich die schon anfangs erwähnte Lichtquelle. Nach dem Einschalten des Lichtes tritt eine unangenehme Empfindung auf, die erst nach einiger Zeit ihren Höhepunkt erreicht. Nach diesem Stadium folgt eine abfallende Periode, die ebenfalls für die einzelnen Strahlungen verschieden lang ist. Den Abfall der Reizwirkung erkläre ich mir durch eine allmähliche Gewöhnung an die Strahlung.

Zur noch genaueren Untersuchung bediente ich mich einer neuen verbesserten Versuchsanordnung:

Nach verschiedenen Vorarbeiten und Vorprüfungen erwies sich sowohl für diese als auch die sich anschließenden Versuchsreihen eine Apparatur, wie sie unten angegeben ist, als sehr zweckmäßig. Die erste Bedingung, die erfüllt werden mußte, ist eine gleichmäßige Lichtquelle. Sie bestand aus den schon vorher erwähnten zwei 40-Watt-Lampen und einer Milchglasscheibe. Die beiden Lampen waren in einen Kasten eingebaut, dessen Vorderwand die Milchglasscheibe bildete. Die Rückwand war mit einem Metallspiegel ausgekleidet, der dazu diente, die Scheibe gleichmäßig zu beleuchten. Schon im Laufe der ersten Versuche hatte es sich als erforderlich herausgestellt, die Milchglasscheibe mit einem Bogen Schreibpapier abzudunkeln.

Das Farbfilter bestand aus drei Blatt Gelatinepapier. Zum Gebrauch wurde es in einen Rahmen gesteckt und festgeklemmt, aus dem es leicht wieder gegen ein anderes eingetauscht werden konnte. Der Rahmen war beweglich angeordnet und lief zwischen zwei Schienen, einer Art Schlittenapparat, in dem er mittels Fußhebel und Schnur über zwei Rollen hochgezogen wurde. Auf diese Weise war es mir möglich, an mir selbst Beobachtungen zu machen, indem ich nur durch Bewegungen des Fußes das Filter schnell z. B. gegen weißes Licht vertauschen konnte. Dabei hatte ich die Hände für alle möglichen Verrichtungen frei.

Um nur das Licht, das durch das Filter kam, auf die Augen wirken zu lassen, wurde das Filter mit einer dunklen Verkleidung umgeben, die nur einen Ausschnitt 20 cm mal 30 cm, der gerade die Größe des Filters hatte, frei ließ, wie aus Abb. 2 zu ersehen ist. Unmittelbar vor der Lichtquelle wurde eine durchsichtige Skala angebracht, hier ein Zelluloidlineal, das für einen später zu beschreibenden Zweck gedacht war, jetzt aber sehr gut als Akkomodationspunkt gebraucht werden konnte. Denn ein Vergleich der Gipfelzeiten war nur unter gleichen Bedingungen, in diesem Falle bei gleichbleibender Akkomodation möglich.

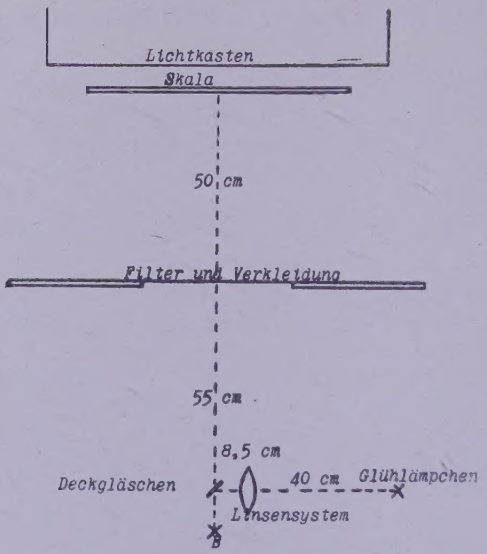

Abb. 2.

Zur Ausführung des Versuches mußte die Versuchsperson ihren Kopf durch eine Stirn- und Kinnstütze fixieren und auf einen an der Lichtquelle angebrachten Fixationspunkt akkomodieren. Beim Einschalten der Lampe, auf die man während des Versuches zu sehen hatte, wurden zwei Stopuhren gleichzeitig in Gang gesetzt. Die erste Stopuhr wurde auf dem Höhepunkt der unangenehmen Empfindung arretiert, die zweite nach dem Abklingen der Empfindung, d. h. beim Eintreten der Gewöhnung an diesen Farbton. In nachstehender Tabelle sind einige Zeiten für die verschiedenen Farben aufgezeichnet. Unter 1 sind die Zeiten für den Höhepunkt der unangenehmen Empfindung verzeichnet, unter 2 die Zeit bis zu deren Abklingen.

Farbe	Nach:	1 min. sec.	2 min. sec.
rot	A	— 12,4	— 40,0
gelb	B	— 24,6	— 53,0
gelbgrün	C	— 27,0	— 58,0
grün	D	1 7,8	1 35,6
blau	E	2 37,0	2 46,2
violett	F	— 26,6	— 36,4

Dieselben Versuche bei Vergrößerung des Abstandes von der Lichtquelle um einen Meter, also bei Herabsetzung der Intensität.

Farbe	Nach:	1 min. sec.	2 min. sec.
rot	A	— 24,8	— 48,6
gelb	B	— 52,8	1 43,1
gelbgrün	C	1 8,2	1 59,0
grün	D	2 47,5	3 8,3
blau	E	2 45,5	3 46,9
violett	F	— 44,8	1 45,2

Dieser Versuch wurde mit den verschiedenfarbigen Filtern A bis F wiederholt. Bei Ausführung des Versuches bei Dunkeladaptation wurde noch eine Minute Adaptationszeit eingeschaltet. Die zwischen die einzelnen Versuche gelegten Pausen betrugen 15 Minuten.

Zeichnet man nach den Tabellen die entsprechenden Kurven, so tritt der Unterschied in der Reizwirkung für die einzelnen Farben deutlich hervor. Auf der Abszissenachse wurde die Zeit aufgetragen, die Ordinaten stellen schätzungsweise den Grad der unangenehmen Empfindung dar. Die doppelt gezeichnete Linie soll den Höhepunkt der Empfindung darstellen. Vergleicht man die einzelnen Kurvenbilder miteinander, läßt sich eine bestimmte Gesetzmäßigkeit erkennen: Je kurzwelliger die Strahlung ist, um so langsamer steigt die unangenehme Empfindung bis zu ihrem Höhepunkt an und desto steiler fällt sie wiederum bei manchen Menschen bis zu ihrem Nullpunkt ab. Nur Violett macht eine Ausnahme; da es doch die kürzeste Wellenlänge besitzt, müßte rein physikalisch betrachtet die Empfindung die längste Zeit zum Ansteigen brauchen. Dem ist aber nicht so, sondern der Höhepunkt wird relativ schnell erreicht; danach stimmt der steile Abfall der unangenehmen Empfindung überein. (Vgl. Abb. 3.) Die Restkomponente hat aber beim Zustandekommen einer schmerzhaften Empfindung das Übergewicht.

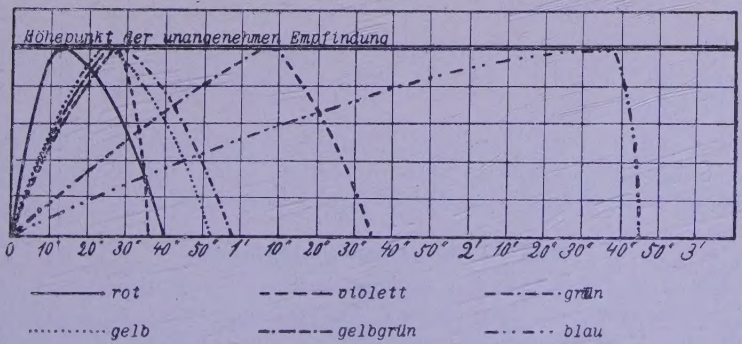

Abb. 3.

Dieses Kurvenbild läßt sich besser mit der physiologischen Farbenbestimmung in Einklang bringen, die Violett als Mischung von Blau und Rot erscheinen läßt, als mit der physikalischen, die nur die Wellenlänge berücksichtigt.

Im Laufe der Versuche konnte festgestellt werden, daß die Gipfelzeit für die verschiedenen Farbtöne individuell verschieden ist und außerdem von der augenblicklichen Disposition des Auges abhängt. Aber für jede Versuchsperson und für jeden Dispositionszustand konnte die Gesetzmäßigkeit festgestellt werden, daß der Blendungsschmerz um so eher eintritt, je langwelliger die Strahlung ist.

Diese Entstehung läßt sich am besten mit der Heringschen Farbentheorie in Einklang bringen, die Violett als Mischung von Blau und Rot erscheinen läßt.

Versuche über das Tränen.

Zur weiteren Untersuchung über die Dauer zwischen dem Beginn des Reizes und dem Zeitpunkt, wo das Tränen auftritt, konnte ich dieselbe, schon oben beschriebene Aufstellung gebrauchen. Auch der Gang des Versuches blieb den vorangegangenen gleich, nur mit dem kleinen Unterschied, daß beim Einschalten der Lichtquelle nur eine Stopuhr in Gang gebracht wurde, die dann beim Eintreten des Tränens angehalten wurde. Es ergibt sich aus einem Versuch ungefähr folgendes Bild:

Farbe		min. sec.
weiß	—	3 19,8
rot	A	2 43,0
gelb	B	3 6,0
gelbgrün	C	3 0,0
grün	D	3 17,3
blau	E	3 19,6
violett	F	3 31,6

Die Werte in obenstehender Tabelle sind eine Stichprobe aus einem Versuch, der in einem erleuchteten Zimmer angestellt wurde.

Aus allen den Einzelbetrachtungen kann wohl die Behauptung aufgestellt werden, daß in erster Linie die langwelligen Strahlungen das Auslösen des Tränens beschleunigen.

Einfluß der Dunkeladaptation.

Bei den im folgenden beschriebenen Versuchsreihen wurde vor jedem Anfang eine Minute Dunkeladaptation eingeschaltet, damit die Versuchsperson gänzlich an die Dunkelheit gewöhnt war. Während der Ausführungen der Untersuchungen bei Dunkel-

adaptation wurde von den Versuchspersonen angegeben, daß der Blendungsschmerz plötzlicher und scheinbar intensiver, mit einem ganz schwachen Brennen begleitet, auftritt. Die Werte der Gipfelzeiten haben sich gegeneinander etwas verschoben. Vielleicht kann man herauslesen, daß die Kürze der Gipfelzeit sich von rot hin nach gelb bewegt hat. (Purkinjesches Phänomen.)

Bestimmung der Pupillenweite.

Die Pupillenweite wurde auf entoptischem Wege bestimmt. Die einfachste Art, einen Zerstreuungskreis herzustellen, besteht darin, daß man durch ein möglichst kleines, etwa mit einer Nähnadel gemachtes Loch in einem Kartenblatt blickt, das man unmittelbar vor das Auge bringt. Bei meinen Versuchen kommt es aber darauf an, das Auge möglichst weitgehend dem Einfluß des farbigen Lichtes auszusetzen. Durch das Vorsetzen eines durchlöcherten Kartons würde aber die zu untersuchende Strahlung abgeblendet werden. Viel besser eignete sich dazu eine Methode, die seinerzeit von Basler[1]) angewendet worden ist. Einen Gesamteindruck der Aufstellung gibt die Abb. 2.

Auf ein Deckgläschen, das in einem Winkel von 45 Grad zum Auge der Versuchsperson steht, wird von einer Seite her durch ein Linsensystem ein leuchtender Punkt eines Glühlämpchens projiziert. Das Auge der Versuchsperson wird jetzt dem Deckgläschen möglichst nahe gebracht und die Lage des Kopfes durch die schon vorher verwendete Stirn- und Kinnstütze festgelegt. Die Skala, die früher, aber auch jetzt wieder als Akkomodationspunkt benutzt wird, wurde, wie schon oben erwähnt worden war, nun ihrem eigentlichen Zweck zugeführt. Durch die Unterteilung in Millimeter war es möglich geworden, bei immer gleichbleibender Akkomodation, die schon mit dem Ablesen Hand in Hand ging, den jeweiligen Durchmesser des Zerstreuungskreises zu kontrollieren. Mit dieser kleinen zusätzlichen Abänderung ist es gelungen, die Kontraktionen der Iris in Zahlenwerten auszudrücken und tabellarisch zu vergleichen, was zur exakten Durchführung des Versuches erheblich beitrug.

Die Versuche gingen ähnlich vor sich wie die bereits beschriebenen, die den Zweck hatten, die Gipfelzeit für das Tränen festzustellen, zum großen Teil waren sie auch miteinander kombiniert. Vor Beginn eines jeden Versuches mußte darauf geachtet werden, daß Skala, Filter und Zerstreuungskreis, der ja immer weiß blieb, zwischen der Skalenmarkierung zu sehen war und sein Durchmesser gemessen werden konnte. Auf das Zeichen „drei" wurde dann der Lichtkasten erleuchtet und sofort der Durchmesser des Zerstreuungskreises abgelesen. Die Versuchs-

[1]) A. Basler, Pflügers Arch. Bd. 108, S. 87 (89). 1905.

person schaute jetzt mit gleichbleibender Akkomodation und ohne Lidbewegung in das Filter und mußte im Moment des Tränens wiederum den Durchmesser des Zerstreuungskreises angeben.

Als Anfangswert wurde die Größe der Pupille beim Einschalten des Lichtes festgelegt. Zum Vergleich mit dieser Zahl wurde die Pupillenweite am Ende eines jeden Versuches, d. h. beim Auftreten des Tränens, abgelesen. Die beiden so erhaltenen Werte ergaben eine Differenz, die bei den verschiedenen Farbtönen verschieden groß war, wie aus folgender tabellarischer Aufstellung zu entnehmen ist.

Der Wert I ist die Pupillenweite beim Einschalten des Lichtes, der Wert II beim Auftreten des Tränens.

Farbe		Wert I		II
weiß	—	4,0	—	3,5
rot	A	4,0	—	3,5
gelb	B	3,5	—	2,7
gelbgrün	C	4,0	—	3,5
grün	D	4,0	—	4,0
blau	E	4,0	—	3,2
violett	F	4,5	—	3,7

Sämtliche Werte der Tabellen sind in Zentimeter angegeben.

Die Dunkeladaptation hat auf die Pupillenreaktion fast gar keinen Einfluß. Die Werte der Rubriken I und II können als übereinstimmend mit den gleichen Zahlen bei Helladaptation aufgefaßt werden. In folgender Tabelle sind einige Werte aufgezeichnet.

Farbe		Wert I		II
weiß	—	4,5	—	3,8
rot	A	4,5	—	4,0
gelb	B	3,2	—	2,6
gelbgrün	C	4,0	—	3,5
grün	D	4,0	—	3,2
blau	E	3,5	—	3,0
violett	F	4,0	—	3,5

Aus den vorangehenden Tabellen wird es anschaulich, daß die Pupillenweite weniger mit dem Farbton an und für sich etwas zu tun hat, sondern daß die pupillomotorische Kraft mehr durch die, sei es relative, sei es absolute Helligkeit eines Farbtones beeinflußt wird. Von diesem Standpunkt aus gesehen wären also Blendungsschmerz und Pupillenweite durch zwei verschiedene Ursachen bedingt. Die beiden auslösenden Momente hängen aber insofern zusammen, als die Farbtöne, die eine kurzwelligere Strahlung haben, eine größere Affinität zu Weiß und damit wiederum

eine größere relative Helligkeit besitzen als die langwelligen Farben [2]).

Objektive Bestimmung der Pupillenweite.

Da die entoptische Bestimmung der Pupillenweite bis zu einem gewissen Grade dem subjektiven Empfinden unterliegt und daher mit mehr oder weniger großen Fehlangaben verbunden ist, sah ich mich gezwungen, nach einer objektiveren Methode zu suchen. Ich bediente mich der zuvor von Garten angewendeten Methode, mit der es mir geglückt war, als Bestätigung der Zahlenwerte die einzelnen Stadien der Pupillenweite bei den verschiedenen Farbtönen photographisch festzuhalten. Während der Aufnahme mußte der Lichtreiz ununterbrochen auf das Auge weiterwirken und durfte nicht durch das Photographieren zerrissen werden. Also konnte ich den photographischen Apparat nicht in die Lichtbahn Filter—Auge bringen. Hierfür blieb nur eine Lösung; ich mußte die Aufnahme im rechten Winkel zum Objekt machen. Zu diesem Zweck wurden die Glühlämpchen und das Linsensystem weggelassen und statt des Deckgläschens ein Reversionsprisma angebracht. Die Aufstellung des Prismas geht aus folgender Abb. 4 hervor.

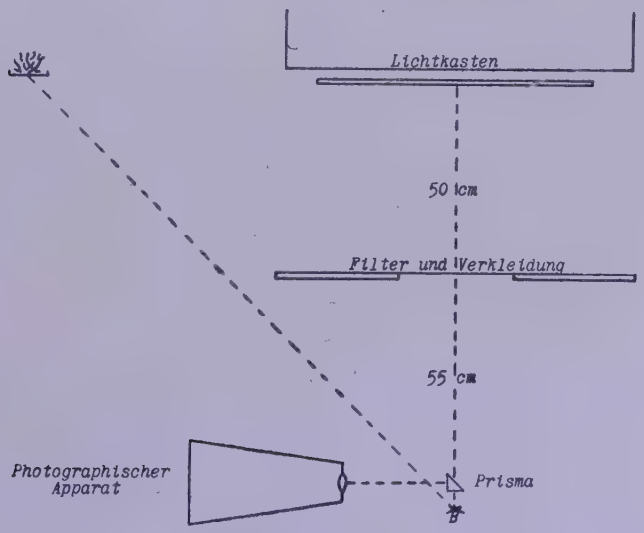

Abb. 4.

[2]) A. Basler, Über die Pupillarreaktion bei verschiedenfarbiger Belichtung. Pflüg. Arch. Bd. 108, S. 87, 1905. — M. Sachs, Über den Einfluß farbiger Lichter auf die Weite der Pupille. Pflüg. Arch. Band 52, Seite 79. 1892. — G. Abelsdorff, Die Änderungen der Pupillenweite durch verschiedenfarbige Belichtung. Zeitschr. für Psych. u. Physiol. d. Sinn. Bd. 22, 81, 1899.

Auf diese Art wird der Weg zur Lichtquelle über das Filter freigegeben und die Skala kann wieder als Akkomodationspunkt verwendet werden. Eine Schwierigkeit blieb das Anbringen des Blitzlichtes. Es muß so aufgestellt sein, daß es im Prisma keine Reflexe gibt und die Pupillen ganz beleuchtet, aber ohne daß es direkt die Netzhaut trifft. (Vgl. Abb. 4.)

Mit geeigneter Umrechnung kann man die auf den photographischen Aufnahmen gemessenen Durchmesser und die in dem vorhergehenden Versuch von der Versuchsperson angegebenen Differenzen vergleichen.

Angriffsstelle für den Blendungsschmerz.

Es wird behauptet, daß der Blendungsschmerz hervorgerufen wird teils durch die Kontraktionen der Iris[3]), teils durch die Reizung der Kornea. Von anderen Autoren wird der Ursprung des Schmerzes in die Netzhaut verlegt. Diese strittige Frage legte mir den weiteren Gang und die Reihenfolge für meine Untersuchungen fest. Auf irgendeine Weise mußte ich zuerst das eine, dann das andere Organ ausschließen. Zur Entscheidung, ob die Iriskontraktionen für die Auslösung des Blendungsschmerzes verantwortlich gemacht werden können, legte ich die Pupille durch starke Atropindosen vollständig lahm. In drei aufeinanderfolgenden Tagen wurde den Versuchspersonen eine 2% ige Atropinlösung in den Bindehautsack verabfolgt. Am vierten Tage wurden dann die Versuche gemacht. Sie fanden auf dieselbe Art statt wie die vorausgegangenen. Auch jetzt wurde die Gipfelzeit mit der Stopuhr gemessen, nur die Pupillengröße nicht beachtet, da sie ja jetzt immer gleich blieb, und auch die Akkomodation unmöglich war. Die Zeiten, die hier erzielt wurden, waren genau dieselben wie bei den Ausführungen ohne Atropin.

Farbe		min. sec.
weiß	—	2 45,0
rot	A	2 53,2
gelb	B	1 54,4
gelbgrün	C	2 27,2
grün	D	2 37,6
blau	E	3 54,8
violett	F	2 59,2

Als nächstes wurde die Konjunktiva ausgeschaltet. Dazu wurde der Versuchsperson eine Lochbrille, deren Öffnung etwas größer war als die Pupille, aufgesetzt. Dann wurde für die so

[3]) M. v. Frey, Die Gefühle und ihr Verhältnis zu den Empfindungen. Leipzig 1894, S. 11. Vgl. auch H. Feilchenfeld, Z. f. Sinn. Bd. 42, S. 172 (183), 1908.

bewaffneten Augen wieder wie oben die Gipfelzeit bestimmt.

Farbe		min. sec.
weiß	—	2 55,2
rot	A	2 16,8
gelb	B	2 19,4
gelbgrün	C	2 56,0
grün	D	2 48,4
blau	E	3 4,8
violett	F	2 56,0

Die Gipfelzeiten für das Auftreten der unangenehmen Empfindung waren die gleichen wie oben, aber es fiel auf, daß kein Tränen der Augen zu beobachten war; auch die Art des Blendungsschmerzes hatte sich geändert; er hatte einen mehr brennenden Charakter angenommen.

Als letztes wurde die Kornea ausgeschaltet. Sie wurde wie üblich mit Kokain anästhesiert. Dabei ist zu beachten, daß die Kokanisierung gründlich genug durchgeführt wird, d. h. der Versuchsperson muß mehrere Male hintereinander, auch wenn sich das Auge nach zwei- oder dreimaligem Einträufeln schon ohne Schmerzen berühren läßt, in den Bindehautsack eingespritzt werden, da bei einmaliger Kokaindosis die anästhesierende Wirkung für diese Versuche von zu kurzer Dauer ist. Unmittelbar vor dem Versuch wurde noch die Pupillenreaktion geprüft, die prompt eintrat. Nach der uns schon bekannten Weise wurde die Gipfelzeit für den Blendungsschmerz zu bestimmen versucht. Der sonst immer vorhandene brennende Schmerz trat nicht auf; wohl aber eine schwer zu beschreibende, höchst unangenehme Empfindung. Tränenfluß blieb aus. Nach 15 Minuten langer ununterbrochener, intensiver Belichtung wurde der Versuch abgebrochen.

Erörterung der bisherigen Ergebnisse.

Aus den Versuchen scheint sich das Folgende zu ergeben. Die schmerzhafte Empfindung, von der oben gesprochen wurde, weiterhin das Brennen und schließlich das Tränen tritt auf trotz Stillegung der Pupille mit Atropin. Bei Bedeckung der Hornhautperipherie sowie der Bindehaut durch eine Lochbrille trat zwar die unangenehme Empfindung auf, gleichzeitig mit stärker empfundenen Brennen, aber ohne Tränensekretion. Dieses Brennen erkläre ich mir als eine Begleiterscheinung des Tränenflusses, die um so stärker empfunden wird, wenn es zu keiner Entleerung der Drüsen kommt. Bei Lähmung von Kornea und Konjunktiva durch Kokain blieb nur das „Brennen“ aus. Daraus kann wohl geschlossen werden, daß die unangenehme Empfindung lediglich in dem somati-

schen Sehfeld zustandekommt.

Ganz besonders muß noch einmal an dieser Stelle auf die schon eingangs hervorgehobene Tatsache hingewiesen werden, daß bei Vorsetzen eines Rot- oder Gelbfilters Blendung auftritt, obgleich die Strahlung physikalisch weniger intensiv ist, als die des zum Vergleich herangezogenen weißen Lichtes. Eine Erklärung dieser Erscheinung dürfte bei Zugrundelegung der Helmholtzschen Theorie auf große Schwierigkeiten stoßen. Bei roter Strahlung werden nur die rotempfindlichen Netzhautelemente gereizt, bei weißem Licht werden die Rotelemente ebenso stark in Erregung versetzt wie bei den roten Strahlen, denn diese sind ja in ihrer Gesamtheit in dem Strahlengemisch enthalten. Dazu kommt noch die Reizung der beiden anderen lichtempfindlichen Apparate durch die grünen und violetten Strahlen.

Leichter scheint mir eine Erklärung nach der Heringschen Theorie: Bei dem durch Filterwirkung bedingten Rot wird die rotgrüne Substanz und nebenbei natürlich auch die weiß-schwarze Substanz des somatischen Sehfeldes dissimiliert. Durch das zeitliche Zusammentreffen dieser beiden Dissimilationsvorgänge kann zweifellos eine Reizung hervorgerufen werden, die so stark ist, daß eine höchst unangenehme Empfindung entsteht.

Im gemischten, von der Sonne oder auch einer künstlichen Lichtquelle stammenden Licht, sind aber auch die kurzwelligen, eine Assimilation bedingenden Strahlen enthalten. Das ist ja die Ursache dafür, daß die Gesamtheit aller Strahlen uns weiß erscheint. Die darin enthaltene grüne Strahlung z. B. bedingt einen Aufbau in der rot-grünen Substanz. Durch ihn wird der durch Rot bedingte Abbau eingeschränkt oder wo möglich vollständig kompensiert. Der an rote Strahlung geknüpfte physiologische Prozeß, der die Empfindung Rot zur Folge hat, hört auf und damit auch der sukzessive, eine unerträgliche Empfindung auslösende Reiz. Das gemischte weiße Licht wird erst dann diese „Blendung" hervorrufen, wenn es so stark ist, daß in der weiß-schwarzen Substanz die Dissimilationsvorgänge gegenüber der Assimilation außerordentlich stark überwiegen.

Teil II.

Blendung bei unscharfer Einstellung.

Die Tatsache, daß ungenügend scharfe Einstellung eine Blendung verursacht, veranlaßte die weitere Versuchsfolge. Dieser Unschärfe in der Einstellung begegnen wir häufiger als es uns bewußt wird. Ja, man kann sagen in jedem Augenblick, in

welchem wir das Auge von einem Ding einem entfernter oder näher liegenden zuwenden, ist eine unscharfe Einstellung in unserem Auge vorhanden solange, bis der betreffende Gegenstand sich scharf auf der Netzhaut abbildet, d. h. bis die Akkomodation eine gleichbleibende wird. Wahrgenommen werden kann dieser Zustand bei einem normal funktionierenden Auge nicht, da die Akkomodationszeit zu kurz ist. Er ist aber einem jeden bekannt bei einem weit- oder kurzsichtigen Auge, dessen Akkomodationsbereich durch krankhafte Veränderungen eingeengt ist, was sich in einem verschwommenen Bilde äußert und durch eine Brille korrigiert werden muß. Wird von solchen Leuten das Tragen einer Brille abgelehnt, dann tritt Augenschmerz ein. Doch auch beim gesunden Auge kann so etwas vorkommen, nämlich dann, wenn der Gegenstand selbst unscharf eingestellt ist, z. B. bei einem ungenau eingestellten Mikroskop oder Projektionsapparat, bei verdruckter Schrift usw.

Es wäre die einfachste Versuchsweise gewesen, eine verdruckte Schrift zu nehmen und zu beleuchten und so die Gipfelzeit für den Blendungsschmerz zu bestimmen. Da die Technik deutscher Maschinen aber so fortgeschritten ist, daß es beinahe unmöglich ist, eine solche Schrift zu erhalten, und mir eine fehlsichtige Versuchsperson nicht zur Verfügung stand, mußte ich mir auf eine andere Art helfen.

So erzeugte ich eine Schrift mit doppelten Konturen. Die Doppelbilder kamen nach dem Gesetz der Reflexion von Strahlen durch parallele Glasplatten zustande. Der auffallende Strahl wird in zwei ungleich helle Teile gespalten und in einem Abstand zurückgeworfen, der durch die Stärke der Platte und den Einfallswinkel bestimmt wird. Die ungleiche Helligkeit ist dadurch zu erklären, daß der größte Teil der Strahlen an der oberen Fläche gebrochen, der kleinere aber erst den Weg durch das Glas nimmt und dann an der unteren Fläche reflektiert wird.

Methodik.

Eine Spiegelschrift, die von einer starken Lichtquelle beleuchtet wurde, bildete sich in einer planparallelen Glasplatte ab. Die Stärke der Platte konnte nach Bedarf gewählt werden. Nun neigte man die Glasplatte um so viel, daß die Schrift sich mehr oder weniger verdoppelte, je nach dem Neigungswinkel und der Stärke der Platte, aber auch je nach der Größe der Schrift. Damit die Schrift leserlich erkennbar wird, wurde die Glasplatte mit einem schwarzen, möglichst homogenen Kartonpapier unterlegt oder auf einer Seite gleichmäßig angeschwärzt. (Siehe Abb. 5.)

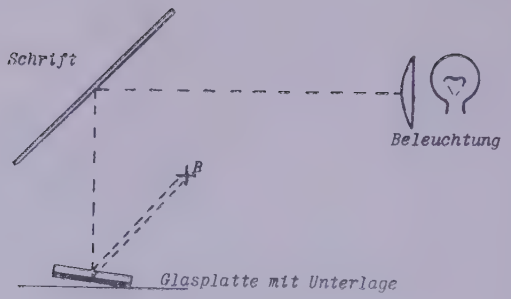

Abb. 5.

Als zweite Möglichkeit habe ich eine Schriftprobe auf optischem Wege unscharf eingestellt. Die Anordnung hierfür war sehr einfach. Eine Schriftprobe wurde verkehrt an einer senkrechten Holztafel angebracht. Davor war ein photographischer Apparat aufgestellt, und die Schrift wurde beleuchtet.

Zum Experimentieren wurde zunächst das Bild auf der Mattscheibe des Apparates, der einen doppelten Auszug haben muß, in natürlicher Größe eingestellt. Dann rückt man den Apparat immer näher an die Schrift heran, bis alles verwischt erscheint, aber so, daß man noch die allgemeinen Schriftzüge erkennen kann. Der Abstand von Apparat und Schirm hängt unmittelbar von der Größe der Schrift ab. (Siehe Abb. 6.)

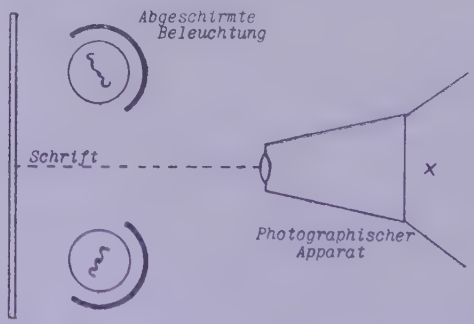

Abb. 6.

Für eine exakte Untersuchung war es notwendig, die Undeutlichkeit in Grade einzuteilen. Es hätte zu weit geführt, für jede Schriftgröße die unscharfe Einstellung zu bestimmen, die in kürzester Gipfelzeit den Blendungsschmerz auslöst, und so wurde eine Schriftgröße festgesetzt.

Zunächst wurde die Schriftprobe mit einem weißen Schirm mit zwei schwarzen, geraden, parallel verlaufenden Linien, deren Abstand ungefähr 2 bis 3 mm war, vertauscht. Diese Linien wurden auf der Mattscheibe des photographischen Apparates scharf eingestellt. Der Ständer, auf dem der Apparat angebracht war, wurde in dieser Stellung als Punkt 0 auf der Tischplatte markiert. Die Einstellung mußte jetzt durch das Verschieben des Ständers vorgenommen werden, weil die Größe der Schrift auf der Mattscheibe, die doch mit dem Abstand des Objektivs zur Mattscheibe gegeben ist, immer dieselbe bleiben sollte. Den entgegengesetzten Punkt erhielt man so: Der Ständer mit dem Apparat wurde soweit gegen den Schirm hin verschoben, bis aus den beiden Linien nur eine einzige wurde. Der Punkt wurde angezeichnet, der Abstand der beiden Punkte voneinander in Zentimeter unterteilt. Auf diese Art war eine Skala geschaffen.

Die zum Versuch benutzten Linien hatten einen Abstand von 2,5 mm, d. h. die Konturen verschoben sich beim Punkt größter Undeutlichkeit um 1,25 mm. Die Schrift auf dem Schirm hatte eine Höhe von 9 mm, der Auszug des photographischen Apparates war fast ganz ausgezogen.

Auf der folgenden Tabelle sind die Gipfelzeiten der Blendung bei den einzelnen Skalenpunkten enthalten.

Skalenpunkt	Gipfelzeit: min. sec.
1	2 10,0
2	2 33,0
3	2 19,8
4	1 41,0

Erörterung!

Das Zustandekommen dieses Blendungsschmerzes ist, wie es scheint, auf eine andere Ursache zurückzuführen als die des Blendungsschmerzes bei farbigen Strahlungen. Um die Linse zur Accomodation zu veranlassen, ist ein besonderer Reiz nötig. Diesen stellt man sich am besten als einen leuchtenden Gegenstand vor. Dadurch wird der Akkomodationsmuskel zu einer Kontraktion gezwungen, die solange alle möglichen Phasen durchläuft, bis der helle Gegenstand sich scharf auf der Retina abbildet. Erst dann tritt eine gleichmäßige Dauerkontraktion des Akkomodationsmuskels ein, und der die Kontraktion auslösende Netzhautreiz hört auf. Haben wir aber einen Gegenstand, der sich, wie das bei meinen Versuchen der Fall ist, nicht scharf einstellen läßt, dann wird auf der einen Seite das Auge nicht zur Ruhe kommen können, andererseits dauert aber der oben erwähnte Reiz an und führt, da er nicht befriedigt werden kann, zum Schmerz.

Unscharfe Einstellung bei farbigem Licht.

Anschließend an die vorhergegangenen Farbenversuche wird es noch zweckmäßig sein, einen Versuch mit unscharfer Einstellung bei farbigem Licht zu machen. Hierzu diente dieselbe Versuchsaufstellung, mit welcher schon bei den früheren Farbenversuchen gearbeitet wurde. Auch die Verlaufsweise blieb dieselbe bei der Bestimmung der Gipfelzeit für den Blendungsschmerz wie auch bei der Bestimmung der Pupillenweite.

Die unscharfe Einstellung wurde in diesem Versuch durch das Vorsetzen eines unpassenden Brillenglases erreicht. Die einzelnen Werte für die Gipfelzeit sind aus folgender Aufstellung zu entnehmen.

Farbe		min. sec.
weiß	—	2 54,8
rot	A	2 44,2
gelb	B	2 44,1
gelbgrün	C	2 27,4
grün	D	2 57,9
blau	E	2 53,2
violett	F	2 49,2

Zu sagen wäre dazu, daß alle Zeitwerte zahlenmäßig kleiner sind, und daß die Reizschwelle im allgemeinen herabgesetzt worden ist. Dabei hat sich das Verhältnis der Dauer für die Gipfelzeiten bei den einzelnen, verschiedenen Farbtönen zugunsten der Helligkeit von Rot nach Gelb hin verschoben.

Die Erklärung für die kürzer gewordenen Gipfelzeiten könnte man sich sehr gut so vorstellen, daß jetzt der Blendungsschmerz durch zwei Reize bedingt wird. Der erste wäre demnach der physiologische Prozeß, der durch die farbige Strahlung in der Netzhaut zustandekommt; der zweite, die Reizwirkung, die die Kontraktionen des Accomodationsmuskels bewirkt und nicht befriedigt werden kann. Letztere wäre wohl auch für die Kürze der Gipfelzeiten verantwortlich zu machen.

Die Pupillenweite bei unscharfer Einstellung.

Der Vollständigkeit halber wurde noch der Versuch über die Pupillenweite bei unscharfem Sehen angeschlossen. Um den Zerstreuungskreis auf der Skala ablesen zu können, wurde nur vor ein Auge ein nicht passendes Brillenglas gesetzt und mit dem anderen registriert. Die Iriskontraktionen stimmten beiderseits infolge der consensuellen Reaktion überein, und so konnte der Durchmesser des Zerstreuungskreises für das mit dem Glas bewaffnete Auge ohne Schwierigkeiten abgelesen werden.

Farbe		Wert: I		II
weiß	—	3,5	—	2,8
rot	A	4,5	—	4,1
gelb	B	3,8	—	3,5
gelbgrün	C	3,5	—	3,2
grün	D	4,0	—	3,5
blau	E	3,8	—	3,5
violett	F	4,0	—	3,7

Vergleicht man die oben angegebenen Zahlen mit Werten für die Weite der Pupille, die wir im Laufe der Arbeit bekommen haben, so wird man behaupten können, daß die unscharfe Einsetllung keinen oder wenigstens gar nicht sicher wahrnehmbaren Einfluß auf die Pupille hat.

Zusammenfassung.

1. Bei allen Versuchspersonen konnte durch rote und gelbe Strahlung der stärkste Blendungsschmerz hervorgerufen werden.
2. Dementsprechend war auch die Gipfelzeit für das Entstehen des Schmerzes für die beiden erstgenannten Farben am kleinsten.
3. Hand in Hand mit der unangenehmen Empfindung ging die Pupillenreaktion einher.
4. Auch durch unscharfe Einstellung von Konturen läßt sich eine unangenehme Empfindung hervorrufen, die durchaus ähnlich ist der bei roter Strahlung auftretenden.
5. Im Gegensatz zu den Ergebnissen bei Farbstrahlungen trat bei unscharfer Einstellung keine nachweisbare Veränderung der Pupillenweite auf.

An dieser Stelle möchte ich mir gestatten, Herrn Prof. Basler für die freundliche Zuweisung des Themas und die wertvollen Anregungen und Hinweise während der Versuche, meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Als Sohn des Drogenkaufmannes Oskar Eisenecker und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Klement, wurde ich am 27. April 1912 in Nikolai, Kreis Pleß, geboren. Mit dem schulpflichtigen Alter besuchte ich hier drei Klassen einer Privatvolksschule und wurde im April 1921 in das humanistische Gymnasium aufgenommen. Durch die Übergabe Ost-Oberschlesiens wurde ich 1922 polnischer Staatsbürger. Da im Gymnasium meiner Heimatstadt jetzt nur polnische Lehrpersonen angestellt worden waren, meldete ich mich im September 1924 in das Minderheitsgymnasium in Kattowitz und legte dort am 8. Mai 1930 die ordentliche Reifeprüfung mit Erfolg ab. Am 14. April 1931 wurde ich in die Universität zu Breslau eingeschrieben, in der ich zwei Semester Naturwissenschaften und zehn Semester Medizin ordnungsgemäß belegte. Inzwischen erwarb ich am 15. Juli 1932 die Deutsche Staatsangehörigkeit durch Einbürgerung wieder. Gegen Ende September 1937 schloß ich mein Studium mit der großen Staatsprüfung. Am 30. September 1938 beendete ich ordnungsgemäß die Ableistung des praktischen Jahres im Krankenhaus zu Allerheiligen in Breslau.

Erwin Eisenecker.